УДК 614.8 https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-2-19-29

Система адаптивного дистанционного мониторинга и контроля эксплуатации опасных объектов на основе риск-ориентированного подхода

А. В. Панфилов, О. А. Бахтеев, В. В. Дерюшев, А. А. Короткий

Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. При проектировании технически сложных промышленных объектов и объектов транспортной инфраструктуры большое внимание уделяется безопасности эксплуатации и обслуживания. Тем не менее в производственной практике нарушаются правила эксплуатации и проведения технического обслуживания опасного объекта. Несоблюдение требований приводит к неисправностям, авариям и несчастным случаям. С развитием интернета создаются решения, которые позволяют контролировать большое количество параметров технически сложных устройств и передавать эти данные в единую базу для последующей обработки и принятия решений.
Постановка задачи. В статье рассматривается методология адаптивного дистанционного мониторинга и контроля эксплуатации опасных объектов на основе риск-ориентированного подхода, представляющего собой продукт интернета вещей. Это рекомендательная система для принятия основанного на оценке индикаторов риска решения о безопасности опасных объектов с учетом функциональных и лингвистических критериев фактического технического состояния.
Теоретическая часть. Особенностью теории и предложенной методологии является алгоритм по выработке решения о безопасности объекта в реальном режиме времени. Алгоритм предусматривает интегральную оценку антропогенных и машинных данных в облачном пространстве. При этом используются нейронные сети, технологии искусственного интеллекта и цветовая индикация уровня опасности.
Выводы. Основным результатом использования рекомендательной системы является снижение аварийности при эксплуатации опасного объекта. Такой результат обеспечивается благодаря фактической достоверности дистанционного контроля, который позволяет вырабатывать предупредительные решения при меньшем влиянии субъективности человеческого мышления.

Ключевые слова: безопасность, дистанционный мониторинг, контроль, риск-ориентированный подход, оценка риска, прогнозирование риска, рекомендательные системы принятия решения, интернет вещей.

***Для цитирования*:** Система адаптивного дистанционного мониторинга и контроля эксплуатации опасных объектов на основе риск-ориентированного подхода / А. В. Панфилов, О. А. Бахтеев, В. В. Дерюшев, А. А. Короткий // Безопасность техногенных и природных систем. — 2020. — №2. — С. 19‒29. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-2-19-29

Adaptive remote monitoring and control system for the operation of hazardous facilities based on a risk-based approach

A. V. Panfilov, O. A. Bakhteyev, V. V. Deryushev, A. A. Korotkiy

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. When designing technically complex industrial facilities and transport infrastructure facilities, much attention is paid to the safety of operation and maintenance. Despite all the measures taken during the development of systems, there are cases of violation of the operating rules, as well as the maintenance of a hazardous facility of inadequate quality. Non-compliance with the requirements leads to malfunctions, accidents, and in some cases, to accidents. With the development of the Internet, it becomes possible to develop devices that allow you to control a large number of parameters of technically complex devices and transfer their parameters to a single database, for subsequent processing and decision making.
Problem Statement. The article discusses the methodology of adaptive remote monitoring and control of the operation of hazardous facilities based on a risk-based approach, which is a product of the Internet of things. This is a recommendation system for making a decision on the safety of hazardous facilities based on the assessment of risk indicators taking into account the functional and linguistic criteria of the actual technical condition.

Theoretical Part. A feature of the proposed methodology is an algorithm for developing a decision on the safety of an object in real time, which provides an integrated assessment of anthropomorphic and machine data in the cloud space of the Internet using neural networks and artificial intelligence technologies, followed.
Conclusion. The main result of using the recommendation system is the reduction in accidents during the operation of a dangerous object, due to the actual reliability of remote control, which is used in the development of decisions of a precautionary nature, with a decrease in the subjective nature of human thinking.

Keywords: security, remote monitoring, control, risk-based approach, risk assessment, risk prediction, advisory decision-making systems, the Internet of things.

For citation: Panfilov A.V., Bakhteyev O.A., Deriyshev V.V., Korotkiy A.A. Adaptive remote monitoring and control system for the operation of hazardous facilities based on a risk-based approach: Safety of Technogenic and Natural Systems. 2020;2: 19−29. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-2-19-29

Введение. Развитие законодательства в области промышленной безопасности с учетом цифровизации экономики предполагает дистанционный контроль эксплуатации опасных объектов. Проект Федерального закона о внесении изменений в ФЗ «О промышленной безопасности» предлагает внедрить государственный мониторинг промышленной безопасности, основанный на автоматизированном сборе, фиксации, обобщении, систематизации и оценке информации с использованием дистанционного контроля опасных производственных объектов [1]. Внедрение модели государственного регулирования в сфере промышленной безопасности базируется на риск-ориентированном подходе [1–4]. Технический прогресс и современное законодательство предъявляют к безопасности объектов новые требования, базирующиеся на риск-ориентированном подходе. На опасных объектах сохраняется высокая аварийность. Как показывает статистика, она на 90 % связана с человеческим фактором [5, 6]. Одно из перспективных направлений повышения безопасности — внедрение методов мониторинга эксплуатации опасных объектов по контролю их технического состояния, а также работы персонала при выполнении регламентных работ [7–9].

Целью исследования является разработка методологии адаптивного дистанционного мониторинга и контроля эксплуатации опасных объектов на основе риск-ориентированного подхода, представляющего собой продукт интернета вещей.

Для достижения поставленной цели решаются перечисленные ниже задачи.

1. Создание математического аппарата обработки информации о текущем состоянии опасных объектов, позволяющего прогнозировать и оценивать риски развития аварийных ситуаций с учетом функциональных и лингвистических параметров.

2. Разработка методологии по созданию продукта интернета вещей, в котором физическими предметами выступают опасные объекты, оснащенные встроенными технологиями для взаимодействия с внешней средой через интернет. Новое решение должно обладать способностью перестраивать экономические и общественные процессы (в том числе надзорные функции), частично исключая необходимость задействовать человеческое сознание.

3. Дистанционное формирование и актуализация должностных и производственных инструкций специалистов, эксплуатирующих опасный объект.

4. Доставка на персональные мобильные устройства специалистов лингвистических чек-листов для контроля технического состояния объекта.

5. Проведение ежесменной функциональной проверки работы локальной системы безопасности контролируемого объекта и передача полученной информации в базу данных сервера.

6. Создание цветовой визуализации рекомендательной системы принятия решения по параметрам риска аварий контролируемого объекта и показаниям работы локальной системы безопасности.

Постановка задачи. Риск-ориентированный подход в контрольной и надзорной деятельности обеспечивает дистанционное воздействие на объекты контроля надзорных функций, основанных на оценке риска их аварий (инцидентов) и последствий таких событий. Одно из перспективных направлений в данной сфере — внедрение IT-технологий (информационные технологии, англ. information technology). Полученные таким образом новые решения представляют собой программные продукты, работающие в режиме реального времени. Они собирают сведения о текущем состоянии опасных объектов, что позволяет прогнозировать и оценивать риски развития аварийных ситуаций, передавать информацию не о случившемся событии, а о риске наступления неблагоприятного события. Основываясь на таких данных, можно своевременно отреагировать на вероятную опасность [10–13]. Предлагаемые IT-технологии представляют собой продукт интернета вещей

(англ. internet of things, IoT), в котором физическими предметами («вещами») выступают опасные объекты, оснащенные встроенными технологиями для взаимодействия с внешней средой. Рассматриваемое явление способно перестроить экономические и общественные процессы, отстранив человеческое сознание от некоторых специфических функций, включая надзорные.

Теоретическая часть. Решение проблемы безопасности эксплуатации опасных объектов при их дистанционном мониторинге основывается на цифровых интернет-технологиях, интегрированных с мобильными приложениями. Такие продукты реализуются в форме специализированной цифровой платформы на базе программно-аппаратных средств поиска, хранения, обработки, предоставления и распространения информации между участниками платформы. Под участниками в данном случае понимаются прежде всего инженерно-технические работники и обслуживающий персонал опасного объекта, руководство эксплуатирующей организации, инспектора контрольных и надзорных органов. Разрабатываемая цифровая платформа должна адаптироваться к специфическим особенностям опасных объектов. Например, одной из составляющих такой платформы на транспорте должен быть блок, осуществляющий мониторинг, контроль и информирование пассажиров, включая контроль за состоянием их здоровья, соблюдением мер антитеррористической безопасности.

В основе такого IT-продукта — алгоритм комбинаторного взаимодействия элементов рекомендательной системы и системы поддержки принятия решений с использованием функциональных и лингвистических критериев диагностики комплексного состояния безопасности. При этом сам алгоритм и критерии, определяющие текущее состояние безопасности объекта, изменяются (адаптируются) в зависимости от внешних условий и выявленных объективных причин аварий и инцидентов на других опасных объектах. Этим обусловлена необходимость использования аппарата искусственных нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения для построения интеллектуальной системы, которая обеспечивает переход (свертку) из неструктурированного многомерного нечеткого пространства индикаторов (показателей), характеризующих текущее состояние безопасности объекта, к одному индикатору (интегральному показателю), характеризующему риск возникновения аварии (нештатной ситуации).

Фиксирование индикатора риска само по себе не является доказательством соблюдения или нарушения требований безопасности, но свидетельствует о возможности такого нарушения и может быть основанием для проведения внеплановой проверки или иных форм контроля, вплоть до полного блокирования работы объекта.

Поддержка принятия решений актуальна для сложных многоуровневых систем (строительство, транспорт, механизмы и пр.). Информация по оценке состояний техники и риска аварий в таких системах слабо структурирована или совсем не структурирована. Это предполагает использование больших массивов входящих данных и многокритериальных схем, сложных, многоуровневых иерархических деревьев событий и (или) нелинейных функций принятия решений. При этом учитывается информация, поступающая:

— с датчиков (функциональные критерии),

— от обслуживающего персонала и экспертов (лингвистические критерии) [14–16].

Разрабатываемая адаптивная система мониторинга безопасности эксплуатации опасных объектов на основе IT-технологий и риск-ориентированного подхода может использоваться для мониторинга безопасности в различных областях, а именно:

— в грузоподъемных кранах, лифтах, на канатных дорогах, эскалаторах, подъемниках;

— в газовом оборудовании [17];

— на транспорте — воздушном, автомобильном, речном, морском, железнодорожном;

— в промышленных установках и агрегатах [18].

Рассматриваемая система и реализующая ее цифровая платформа — это актуальные инновационные решения, повышающие уровень промышленной безопасности. Новизна предлагаемого подхода заключается прежде всего во внедрении устройств мониторинга и контроля безопасности эксплуатации объекта на основе логико-лингвистической модели оценивания риска аварии или наступления другого неблагоприятного события.

Результаты исследования. Решение по оценке риска при эксплуатации опасных объектов принимается на основе уникального алгоритма. Он представляет собой комбинаторное преобразование лингвистических критериев диагностики состояния безопасности объекта (поступают от специалистов предприятия) и функциональных индикаторных параметров локальной системы безопасности (от приборов, которыми оснащен объект). Для повышения эффективности оснащения объектов приборами локальной системы безопасности и получения от них информации датчики объединяются в блоки. Количество блоков и их функциональное назначение зависит от вида объекта и целей мониторинга. Например, устройство мониторинга

и контроля состояния безопасности эксплуатации транспортных средств включает четыре основных блока, которые определяют:

— состояние водителя,

— техническое состояние транспортного средства,

— местоположение, скорость перемещения автотранспортного средства, состояние дороги и окружающей среды, соблюдение ПДД,

— состояния пассажиров (грузов).

Получаемые от специалистов и приборов данные образуют конечное множество показателей (критериев). Лингвистические критерии, формируемые по данным людей, в зависимости от природы базовой переменной (базового множества) разделяются на критерии с измеримой базовой переменной (числовые) и с неизмеримой базовой переменной (ординальные). Функциональные критерии, формируемые по данным приборов, всегда являются числовыми. Указанные лингвистические и функциональные критерии в общем случае образуют неструктурированное или слабо структурированное нечеткое множество показателей (критериев оценки состояния безопасности объекта). При этом значения критериев на элементах некоторого конечного множества A опасных объектов образуют матрицу оценок

$$X = \left\| x_{ij} \right\|_{n,m},$$

где $x_{ij} = k_j(a_i)$ — оценка технического состояния объекта a_i по шкале k_j; n — число объектов в множестве $A = \{a_1, a_2, \ldots, a_n\}$; m — число лингвистических и функциональных критериев (шкал оценок) в множестве $K = \{k_1, k_2, \ldots, k_m\}$, образующем критериальное пространство Re^m, внутри которого объекты отображаются в виде множества точек [19].

Следует отметить, что для ординальных лингвистических критериев с неизмеримыми базовыми переменными физические шкалы могут вообще не существовать. В этом случае при формализации таких критериев используются некоторые базовые терм-множества $T = \{T_i\}$, состоящие из нескольких термов [20]. Примером ординального лингвистического критерия является критерий с термами ХОРОШО, СООТВЕТСТВУЕТ, НЕДОСТАТОЧНО, ПЛОХО.

Если исходное критериальное пространство Re^m содержит лингвистические переменные (в том числе ординальные), то формируемый в результате преобразований интегральный показатель, характеризующий риск возникновения аварии (нештатной ситуации), в общем случае также будет ординальной лингвистической переменной L.

Уравнение назначения возможности необходимо для установления количественного соответствия между признаком объекта (ординальной лингвистической переменной L) и свойством S, которым объект может обладать в размытой (неопределенной) степени [20]. Свойство S в данном случае представляет собой состояние объекта, определяющее безопасность его эксплуатации. Важно подчеркнуть, что неопределенность наличия данного свойства у объекта носит не вероятностный, а возможностный характер. Уравнения назначения возможности для лингвистических переменных строятся на основе следующего принципа.

Общее высказывание P, определяющее лингвистическую переменную L, записывается в виде: L есть G, где L — m-арная переменная в критериальном пространстве Re^m (m — число критериев, образующих критериальное пространство Re^m и входящих в лингвистическую переменную L, соответствующую общему понятию риска возникновения аварии при эксплуатации объекта); G — нечеткое отношение в базовом пространстве $X = X_1 \ldots X_m$ между подмножествами S_i ($i = 1, \ldots, m$), описывающими отдельные свойства, определяющие состояние безопасности объекта. Тогда распределение возможностей, связанное с m-арной переменной L, будет определяться уравнением:

$$\Pi_L = G,$$

где Π_L — распределение возможностей, связанное с лингвистической переменной L.

Это уравнение представляет собой формализованное выражение сложного лингвистического понятия — «риск возникновения аварии (нештатной ситуации) при эксплуатации объекта». Таким образом, возникает фундаментальная проблема теории нечетких множеств — проблема назначения числовых оценок субъективным свойствам. Основным методом решения этой проблемы является построение функций принадлежности объекта к нечеткому множеству [19]. При введении в модель оценивания риска функций принадлежности используем аксиоматическую структуру, предложенную в [20] для фундаментального измерения нечеткости. В соответствии с введенными там определениями и теоремами результирующие значения функции принадлежности ограничены снизу числом, приписанным объекту a_{min} или классу

эквивалентности этого объекта $[a_{min}]$, а сверху — значением, присвоенным объекту a_{max} или его классу эквивалентности $[a_{max}]$. Здесь a_{max} — объект, функция принадлежности которого свидетельствует о том, что он определенно обладает свойством S; a_{min} — объект, который определенно не обладает свойством S.

Оцениваемое свойство S разбивает область A с физическим носителем $X(A)$ на три подобласти I_0, I_1 и F. Две «области безразличия» I_0 и I_1 образованы объектами в классах эквивалентности $[a_{min}]$ и $[a_{max}]$ соответственно. Функция принадлежности для «нечеткой области» F, как правило, строится путем формального задания с учетом свойств безопасности конкретных объектов.

Необходимо отметить, что три основные рассматриваемые подобласти не охватывают полностью все возможные состояния безопасности объекта. Дополнительно следует учитывать: состояние объекта, когда он безопасен, но не эксплуатируется, и состояние, когда объект эксплуатируется, однако определение его безопасности невозможно (например, из-за неисправности в самой системе).

Тогда в рассматриваемой системе для ординальной лингвистической переменной РИСК АВАРИИ предлагается использовать три основных элементарных терма, соответствующих подобластям I_0, I_1 и F, и два дополнительных терма, которые визуализируются в виде цветовой шкалы индикаторов (таблица 1). Цвет индикации опасности не требует расшифровки, интуитивно понятен руководителю, эксплуатирующему объект персоналу и доступен контролирующим органам. Принадлежность объекта к одному из трех введенных основных термов (нечетких множеств) определяется по значениям так называемых индикаторов риска.

Таблица 1

Определение принадлежности объекта к одному из основных нечетких множеств по значениям индикаторов риска

Термы лингвистической переменной оценки риска аварии на объекте	**Индикаторы риска**	
Уровень приемлемого риска — эксплуатация объекта разрешена в обычном режиме	Зеленый	$u \leq u_{min}$ $a_i \geq s\ [a_{max}]$
Повышенный уровень риска — эксплуатация объекта разрешена при усиленном контроле	Желтый	$u_{max} < u < u_{min}$ $[a_{max}] > s\ a_i > s\ [a_{min}]$
Критический уровень риска — эксплуатация запрещена (как исключение, возможно выполнение единичных операций при строгом контроле)	Красный	$u > u_{min}$ $a_i \leq s\ [a_{min}]$
Уровень риска не определен из-за сбоя (неисправности) системы	Черный	u — не определен
Объект не эксплуатируется	Белый	

В качестве индикаторов риска предлагается использовать значения универсальной переменной, вводимой при задании элементарных термов в соответствии с перечисленными ниже требованиями [19].

1. Каждый терм описывается нечетким подмножеством множества значений универсальной переменной **u** из интервала [0, 1].

2. Объединение всех элементов терм-множества покрывает полностью множество значений базовой переменной $X(A)$ и соответствующего интервала [0, 1] универсальной переменной **u**.

3. Функции принадлежности элементарных термов строятся в шкале интервалов с использованием (L-R)-аппроксимации или другими методами [21, 22].

С учетом этих требований функции принадлежности терм-множеств, описывающих свойство безопасности эксплуатации объектов, определим функцией

$$\mu D = 1 - u^{\gamma}.$$

Если индикатор риска $u = 0$, то риск отсутствует и эксплуатация объекта абсолютно безопасна. Если индикатор риска $u = 1$, то риск критический и эксплуатацию объекта следует прекратить.

Показатель степени γ определяет слабый порядок на интервале $a_i a_j$ в области A и устанавливает характер изменения функции принадлежности при возрастании индикатора риска. При $\gamma > 1$ одинаковые по величине отклонения индикатора риска приводят к большему приросту функции принадлежности μ_D в области, близкой к нулю, чем в области, близкой к единице. Тогда при малых значениях индикатора риска его отклонения несущественно изменяют функцию принадлежности объекта к безопасной области. Если значение индикатора риска велико, то его отклонение гораздо больше изменяет эту функцию.

Итак, ключевые моменты определения функции принадлежности:

— преобразование базовых переменных $X(A)$ в универсальную переменную **u**, определенную на интервале [0, 1];

— определение значений индикатора риска u_{max} и u_{min}, устанавливающих принадлежность объекта к одному из трех определенных в табл. 1 основных термов.

Заявленные функции логико-лингвистической модели оценивания риска аварии при эксплуатации опасных объектов предлагается реализовать на базе специализированной цифровой платформы, разрабатываемой с применением технологий нейронных сетей.

В данной системе при лингвистической диагностике технического состояния объекта необходимо использовать знания, умения и навыки человека, т. к. практически невозможно охватить приборными методами контроля все параметры, характеризующие безопасность при эксплуатации опасных технических объектов. Кроме того, это позволяет в режиме реального времени учитывать постоянно поступающую информацию о причинах аварии на аналогичных объектах и изменения в нормативно-правовой документации.

Лингвистическая диагностика технического состояния объекта в сочетании с приборной диагностикой создают синергетический эффект. Он проявляется в существенном повышении точности диагностики состояния и оценки риска наступления аварийной ситуации на объекте за счет уменьшения степени неопределенности. Это обусловлено взаимным влиянием всех диагностических параметров друг на друга в процессе машинного обучения с использованием нейронных сетей [23].

На стадии машинного обучения специалист вносит корректировки в алгоритм оценки риска возможной аварии и в чек-листы, формируемые с учетом визуальных подсказок в мобильном приложении. Это позволяет системе учиться автоматически корректировать шаблоны чек-листов, вводя новые диагностические параметры. Блок формирования лингвистических критериев и соответствующих им чек-листов строится по технологиям рекомендательных систем.

Безусловно, структура сбора данных на естественном языке ограничена. Основное требование здесь — четкость ответов оператора на вопросы в чек-листах. В то же время предлагаемый подход позволяет давать количественную оценку типовым нечисловым ответам: «чуть-чуть», «немного», «недавно», «давно».

Например, перечень вопросов чек-листов, отражающих требования федеральных норм и правил по промышленной безопасности (по видам оборудования), зависит от вида контролируемых объектов и конкретной производственной ситуации. К числу общих для чек-листов относятся вопросы о сроках эксплуатации оборудования, последней экспертизы промышленной безопасности объекта и последнего технического обслуживания, о наличии страховки, о производителе работ и др. Специальные вопросы чек-листов для конкретного оборудования касаются, например, оценки выработки поверхности реборды и катания колеса; наличия трещин на барабанах, в сварных швах и основном металле; уровне износа ручья барабана по профилю и др.

При обучении искусственной нейронной сети на данном этапе происходит распознавание ответов с использованием технологии Natural Language Processing (NLP, англ. обработка естественного языка) и многокластерная категоризация их содержания. При этом формируется множество соответствующих лингвистических критериев в критериальном пространстве Re^m. В конечном итоге машинное обучение позволяет системе прогнозировать время наступления предельных значений существующих диагностических параметров. Для этого строится кривая аппроксимации по специальному алгоритму, обучение которого корректируется при каждой последующей операции диагностирования.

Таким образом, программное обеспечение машинного обучения и адаптации системы мониторинга безопасности использует современные алгоритмы на базе нейронных сетей, позволяющие реализовать предлагаемый подход с учетом режимов эксплуатации, реальных погодных условий и нестандартных ситуаций [24–27].

Для примера на рис. 1. схематично изображено взаимодействие участников, программной и аппаратной частей цифровой платформы предлагаемой системы дистанционного мониторинга безопасности объектов, которая основана на технических предложениях патента [28].

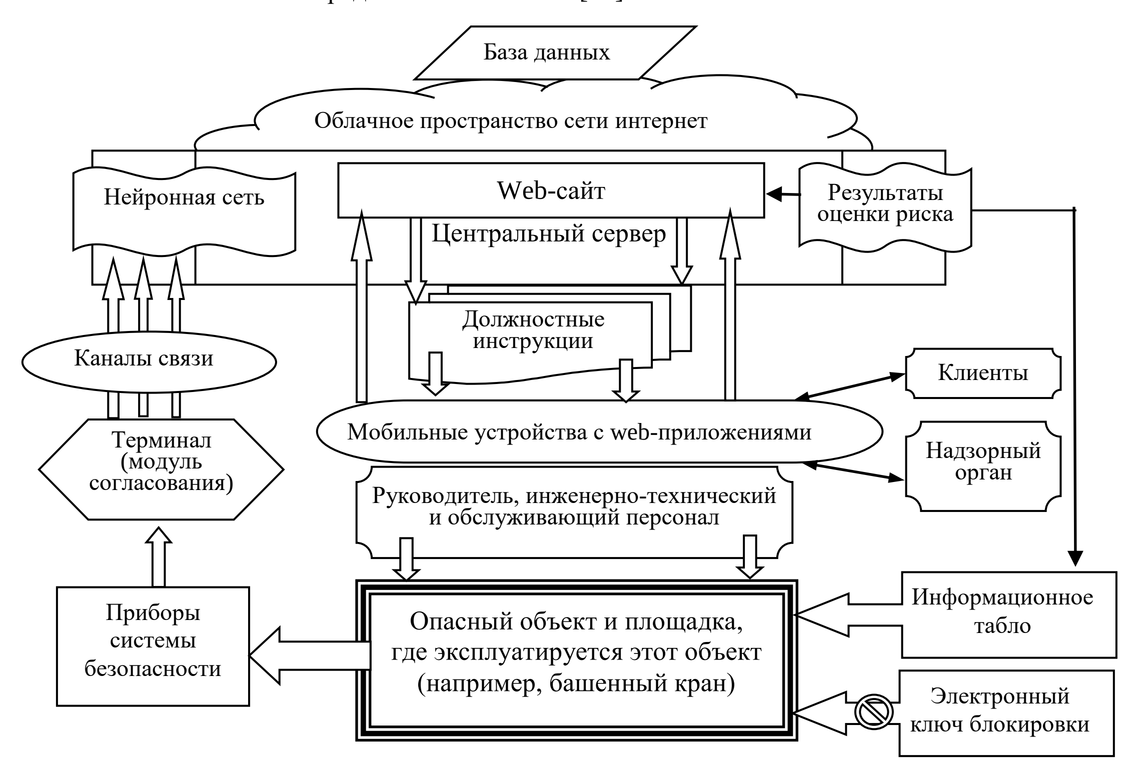


Рис. 1. Блок-схема цифровой платформы

База данных цифровой платформы загружается в облачное пространство сети интернет. Доступ к ней осуществляется через web-сайт, размещенный на центральном сервере. С системой работают неограниченное число зарегистрированных (с персональными паролями и логинами) пользователей. Данные предоставляются с учетом администрирования по степени и уровню конфиденциальности. Вход в базу — с индивидуальных мобильных устройств (компьютеры, планшеты, мобильные телефоны и др.) руководителей, инженерно-технических работников, обслуживающего персонала, клиентов и представителей надзорных органов.

Центральный сервер с помощью нейронных сетей обрабатывает информацию и запросы от приборов контроля и персональных мобильных устройств [29].

При формировании и актуализации базы данных учитывается содержание профильных законодательных актов. Предусматривается возможность составления из этих текстов подборки ключевых слов, по которым формируются чек-листы, а затем — производственные и должностные инструкции. Эти документы предписывают действия по оценке состояния объекта, безопасность которого подтверждается путем формирования лингвистических показателей технического состояния объекта. Инструкции доставляются с помощью web-приложения на индивидуальные мобильные устройства зарегистрированных пользователей.

Поступившую на сервер информацию обрабатывают с помощью нейронных сетей по алгоритму оценки риска (описанному выше и основанному на теории нечетких множества Л. А. Заде). На мобильное устройство пользователей поступает результат вычисления — выраженное в цвете значение индикатора риска (используется цветовая шкала с тремя основными и двумя дополнительными цветами).

Выводы. Предлагаемая система — это первое в полной мере комбинированное цифровое решение, построенное с использованием технологий рекомендательных систем (формирование лингвистических критериев безопасности) и систем поддержки принятия решений (оценка индикаторов риска эксплуатации опасных технических объектов). Особенности данной системы:

— производимая в режиме реального времени интеграция антропогенных и машинных данных,

— учет всей доступной информации,

— оценка рисков и помощь оператору в принятии решений с использованием нескольких алгоритмов на базе нейронных сетей так называемых технологий искусственного интеллекта и интернета вещей.

Реализация системы на базе рассмотренной цифровой платформы позволяет получить перечисленные ниже преимущества:

— обрабатывать информацию о текущем состоянии опасных объектов;

— прогнозировать и оценивать риски развития аварийных ситуаций, учитывающие функциональные и лингвистические параметры;

— дистанционно доводить до специалистов должностные и производственные инструкции, обновленные с учетом изменений нормативно-правовой базы;

— передавать на персональные мобильные устройства специалистов чек-листы для контроля технического состояния объекта;

— проводить по чек-листам ежесменную функциональную проверку работы локальной системы безопасности контролируемого объекта и передавать полученную информацию в базу данных сервера;

— рекомендовать специалистам принимать решения по безопасной эксплуатации, ориентируясь на цветовые индикаторы;

— фиксировать полученную информацию в базе данных в соответствии с идентификацией объекта и его местоположением на электронной карте;

— создавать продукт интернета вещей, в котором физическими предметами выступают опасные объекты, оснащенные встроенными технологиями для взаимодействия с внешней средой через интернет.

Таким образом, решение позволяет унифицировать и систематизировать требования надзорных органов к строительной технике, эксплуатации машин, технологического оборудования и выносить рекомендации на основе объективных данных, снятых на объекте.

Разработанная методология применима для контроля объектов в удаленных и труднодоступных регионах.

Рекомендательная система предназначена для снижения аварийности при эксплуатации опасного объекта. Результат достигается благодаря фактической достоверности дистанционного контроля, т. к. при выработке предупредительных решений ограничивается роль субъективного человеческого мышления.

Библиографический список

1. Проект Федерального закона «О промышленной безопасности» / Правительство Российской Федерации ; [Ростехнадзор] // КонсультантПлюс. — URL : http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=PRJ;n=184711 #07461437166421594 (дата обращения: 11.05.2020).

2. Короткий, А. А. Риск-ориентированный подход для промышленных предприятий / А. А. Короткий, М. А. Журавлева // Безопасность жизнедеятельности. — 2016. — № 5 (185). — С. 8–13.

3. Риск-ориентированный подход к организации надзорной деятельности в области промышленной безопасности / А. А. Короткий, А. А. Кинжибалов, А. В. Панфилов, Д. А. Курилкин // Безопасность труда в промышленности. — 2016. — № 2. — С. 58–63.

4. Совершенствование современных систем безопасности башенных кранов на основе цифровых технологий в условиях риск-ориентированного надзора // А. А. Короткий, А. В. Панфилов, А. А. Кинжибалов, А. В. Кинжибалов // Наука и бизнес: пути развития. — 2018. — № 7 (85). — С. 46–54.

5. Короткий, А. А. О риск-ориентированном подходе при аттестации персонала организаций, эксплуатирующих подъемные сооружения // А. А. Короткий, Е. А. Егельская, Э. А. Панфилова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. — 2019. — № 1 (74). — С. 113–121.

6. Котельников, В. В. Риск-ориентированный подход к аттестации специалистов в организациях, эксплуатирующих опасные производственные объекты / В. В. Котельников, Е. В. Егельская, А. А. Короткий // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. — 2018. — № 3. — С. 292–303.

7. Короткий, А. А. Повышение безопасности лифтов путем применения цифровых технологий / А. А. Короткий, В. П. Колганов // Безопасность техногенных и природных систем. — 2019. — № 1. — С. 8–11.

8. Гальченко, Г. А. Информационно-коммуникационная логистическая система для оптимизации транспортных маршрутов в урбанизированной среде // Г. А. Гальченко, А. А. Короткий, В. В. Иванов // Вестник Брянского государственного технического университета. — 2018. — № 4 (65). — С. 63–67.

9. The use of magnetic marks in steel wire ropes / A. S. Khoroshev, A. V. Pavlenko, D. A. Tchoutchkin [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 10 : — 2017. — Vol. 177, is. 1. — URL: http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/177/1/012072/pdf С. 012072 (дата обращения: 02.04.2020). — (International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2016).

10. Снижение категорий риска транспортных предприятий путем внедрения устройств мониторинга и контроля / А. А. Короткий, Ю. В. Марченко, О. А. Бахтеев, В. И. Тимофеева // Молодой исследователь Дона. — 2018. — № 4 (13). — С. 69–73.

11. Короткий, А. А. Мониторинг производственного контроля, аварийности и опасности ОПО 4 класса при эксплуатации башенных кранов / А. А. Короткий, А. В. Кинжибалов, А. А. Кинжибалов / Мониторинг. Наука и технологии. — 2017. — № 4 (33). — С. 80–85.

12. Ye, L. A method of online safety assessment for industrial process operations based on hopf bifurcation analysis / L. Ye, Z. Fei, J. Liang // Industrial and Engineering Chemistry Research. — 2011. — Т. 50, № 6. — С. 3403–3414.

13. Prospects of safety control in combination of mining and metallurgy industries / A. E. Filin, O. M. Zinovieva, L. A. Kolesnikova, A. M. Merkulova // Eurasian Mining. — 2018. — № 1. — С. 31–34.

14. Development of implementation chart for non-stationary risks minimization management technology based on information-management safety system / N. Kh. Abdrakhmanov, K. N. Abdrakhmanova, V. V. Vorokhobko [et al.] / Journal of Engineering and Applied Sciences. — 2017. — Т. 12, № S6. — С. 7880–7888.

15. The use of mathematical models in the assessment of the measurements uncertainty for the purpose of the industrial safety condition analysis of the dangerous production objects / A. V. Fedosov, N. K. Abdrakhmanov, E. S. Gaysin [et al.] // International Journal of Pure and Applied Mathematics. — 2018. — Т. 119, № 10, Special Issue C. — С. 433–437.

16. Pinch analysis-based approach to industrial safety risk and environmental management / R. R. Tan, M. K. A. Aziz, D. K. S. Ng [et al.] // Clean Technologies and Environmental Policy. — 2016. — Т. 18, № 7. — С. 2107–2117.

17. Развитие транспортной инфраструктуры крупных городов и территорий на основе технологии канатного метро / А. А. Короткий, А. В. Лагерев, Б. Ч. Месхи [и др.]. — Ростов-на-Дону : Изд-во ДГТУ, 2017. — 344 с.

18. Improving efficiency in a manufacturing company using the inmotion process / M. Bosák, L. Štofová, P. Szaryszová [et al.] // Quality — Access to Success. — 2019. — Т. 20, № 170. — С. 64–67.

19. Дерюшев, В. В. Обобщенный показатель достаточности для оценивания технического состояния строительной и подъемно-транспортной техники / В. В. Дерюшев, Е. Г. Сидельникова // Научное обозрение. — 2013. —№ 9. — С. 164–167.

20. Дерюшев, В. В. Структура и модель построения интегрального показателя для оценивания качества строительной и подъемно-транспортной техники / В. В. Дерюшев, Е. Г. Сидельникова // Научное обозрение. — 2013. — № 9. — С. 311–313.

21. Дерюшев, В. В. Выбор альтернативных решений при наличии риска с учетом факторов неопределенности / В. В. Дерюшев, Е. Г. Сидельникова // Научное обозрение. — 2013. — № 9. — С. 325–328.

22. Принятие технических решений в условиях неопределенности при наличии риска / В. В. Дерюшев, Е. Е. Косенко, В. В. Косенко, М. М. Зайцева // Безопасность техногенных и природных систем. — 2019. — № 2. — С. 56–61.

23. Дерюшев, В. В. Алгоритм машинного обучения на основе анализа малых выборок / В. В. Дерюшев, А. А. Арташесян // Строительство и архитектура — 2017. Дорожно-транспортный факультет : мат-лы науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону : Изд-во ДГТУ ; Изд-во Академии строительства и архитектуры, 2017. — С. 82–86.

24. Дерюшев, В. В. Определение номенклатуры показателей качества строительного и подъемно-транспортного оборудования / В. В. Дерюшев, Е. Г. Сидельникова // Научное обозрение. — 2014. — № 11 (3). — С. 775–777.

25. Дерюшев, В. В. Метод анализа иерархий разделяющихся признаков строительных и подъемно-транспортных машин / В. В. Дерюшев, Е. Г. Сидельникова, М. М. Зайцева // Строительство и архитектура — 2015 : мат-лы междунар. науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону : Изд-во Ростов. гос. строит. ун-та, 2015. — С. 129–130.

26. Дерюшев, В. В. Анализ основных подходов к расчету комплексного показателя, учитывающего качество строительных и подъемно-транспортных машин / В. В. Дерюшев, Е. Г. Сидельникова // Строительство и архитектура — 2015 : мат-лы междунар. науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону : Изд-во Ростов. гос. строит. ун-та, 2015. — С. 107–108.

27. Дерюшев, В. В. Модель анализа достаточности мероприятий по обеспечению безопасности эксплуатации техники / В. В. Дерюшев, А. А. Арташесян // Актуальные проблемы науки и техники — 2018 : мат-лы нац. науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону : Изд-во ДГТУ, 2018. — С. 757.

28. Способ дистанционного контроля безопасности при эксплуатации объекта на базе цифровых информационно-технологических систем : патент 2682020 Рос. Федерация : G06K 17/00 / А. В. Панфилов, А. А. Короткий, А. А. Кинжибалов [и др.]. — № 2018106776 ; заявл. 22.02.2018 ; опубл. 14.03.2019, Бюл. № 8. — 9 с.

29. Применение средств радиочастотной идентификации для повышения уровня промышленной безопасности опасных производственных объектов / А. В. Трембицкий, В. В. Дубровин, А. С. Печеркин [и др.] // Безопасность труда в промышленности. — 2014. — № 9. — С. 68–72.

Сдана в редакцию 03.03.2020
Запланирована в номер 18.04.2020

Об авторах:

Панфилов Алексей Викторович, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7211-1824, panfilov@ikcmysl.ru

Бахтеев Олег Айратович, ассистент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9631-7592, omp-rostov@list.ru

Дерюшев Виктор Владимирович, профессор кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1812-2834, deryushevv@mail.ru

Короткий Анатолий Аркадьевич, профессор кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9446-4911, korot@novoch.ru

Заявленный вклад соавторов:

А. В. Панфилов — оценка состояния вопроса и актуальности исследования, участие в формировании исходной концепции, оформление результатов исследования. О. А. Бахтеев — участие в разработке блок-схемы цифровой платформы. В. В. Дерюшев — разработка методики исследования. А. А. Короткий — обобщение результатов исследования, формулирование выводов.

Submitted 03.03.2020
Scheduled in the issue 18.04.2020

Information about the authors:

Panfilov, Aleksey V., Associate Professor, Department of Operation of Transport Systems and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), Cand. Sci., Associate Professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7211-1824, panfilov@ikcmysl.ru

Bakhteev, Oleg A., Assistant, Department of Operation of Transport Systems and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9631-7592, omp-rostov@list.ru

Deryushev, Viktor V., Professor, Department of Operation of Transport Systems and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), Dr. Sci., Professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1812-2834, deryushevv@mail.ru

Korotkiy, Anatoliy A., Professor, Department of Operation of Transport Systems and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), Dr. Sci., Professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9446-4911, korot@novoch.ru

Contribution of the authors:

A. V. Panfilov — assessment of the studied issue and the relevance of the research, participation in shaping the original concept, making the results of the study. O. A. Bakhteyev — participation in the design of block-diagram digital platform. V. V. Deryushev — development of the study methodology. A. A. Korotkiy — synthesis of research results, formulation of conclusions.